



Рис. 2 - Зависимость ошибки от угла и частоты дискретизации

В тоже время, увеличение частоты дискретизации позволяет снизить данный эффект и расширить допустимый диапазон. Так:

1) При числе отсчетов 10...20 точность интерполяции неудовлетворительная;

2) При 40 отсчетах за период допустимые уровни, при которых погрешность удовлетворяет требованиям, находятся в диапазоне 0...0,25 от амплитуды синусоиды;

3) При 100 отсчетах за период применение интерполяции позволяет с достаточной точностью определять моменты перехода через уровни до 0,85 от амплитудного значения.

Таким образом, для данного метода следует рекомендовать частоты дискретизации от 3000 до 5000 Гц. В противном случае необходимо применять альтернативные методы, такие как использование аналоговых компараторов или интерполяцию кривыми более высоких порядков.

Список литературы: 1. Данильчук В.Н. Современная аппаратура частотных автоматов разгрузки, ввода резервов ГЭС, защит и блокировок / В.Н. Данильчук, И.Ф. Нехай, Е.А. Коломиец, В.А. Перетяшко – Электрические сети и системы. – 2008. -№2. – С. 45-64. 2. Jeon Hyeon-Jin Iterative Frequency Estimation Based on MVDR Spectrum / Hyeon-Jin Jeon, Tae-Gyu Chang // IEEE Transactions on power delivery. – 2010. - Vol.25/- No.2. – P. 621-630. 3. Salcic Zoran An Improved Taylor Method for Frequency Measurement in Power Systems / Zoran Salcic, Sing Kiong Nguang // IEEE Transactions on instrumentation and measurement. – 2009. - Vol.58. -No.9. - P.3288-3294



Гапон Дмитрий Анатольевич закончил факультет автоматики и приборостроения Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» в 2001 году по специальности «Системы управления и автоматики». Круг научных интересов: автоматическая частотная разгрузка.

Поступила в редколлегию 03.09.2010

УДК 621.316.925

Н.А. ДЕЙНЕКО, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХП"

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

Анализ статистических данных оценки надежности функционирования разных видов оборудования выявил значительное влияние надежности функционирования системы контроля и управления на общие показатели надежности системы электроснабжения. Предлагается уделить особое внимание совершенствованию методов и средств их контроля и испытания, направленного на повышение достоверности контроля, что будет способствовать повышению общей надежности функционирования объектов энергетики.

The statistical data analysis of estimation of reliability of functioning of different types of equipment exposed considerable influence of reliability of functioning of the checking system and management on the general reliability indexes of the system of supply by electric energy. It is suggested to spare the special attention to perfection of methods and facilities of their control and test directed on the increase of authenticity of control, that will be instrumental in the increase of general reliability of functioning of objects of energy.

Вступ. Ефективність функціонування системи електропостачання визначається надійністю роботи її окремих елементів: електростанцій, підстанцій, кабельних і повітряних ліній електропередачі й т.ін. Незважаючи на різноманіття робіт, що проводяться в області надійності функціонування електротехнічного устаткування об'єктів енергетики, забезпечити їх роботоздатність тільки за рахунок високої надійності окремих елементів не представляється можливим, тому що складність системи росте швидше, ніж надійність цих елементів[1-7].

Як відомо, вибір тих або інших показників надійності якого-небудь елемента або ланки системи залежить від характеру їх роботи й від вимог, що ставляться до їх функціонування. Для електроустаткування найчастіше використовують такі показники, як безвідмовність, контролепридатність, ремонтпридатність і т.ін. Разом з тим, необхідно більше звернути уваги на такий критерій, як критерій ефективності функціонування електроустановок.

Основна частина. Якщо критерій технічної досконалості (ефективність функціонування при ідеальній надійності) представити як

$$E_i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{cp}},$$

де Φ_i – математичне очікування вихідного ефекту при реальній технічній досконалості в припущенні ідеальної надійності установки; Φ_{cp} – математичне очікування граничного вихідного ефекту в певних умовах,

то критерій ефективності функціонування установки можна характеризувати відносною часткою граничного ефекту, що забезпечується реальною установкою

$$E = \frac{\Phi_p}{\Phi_{cp}}$$

де Φ_p - математичне очікування реального вихідного ефекту, що забезпечує установка у розглянутих умовах.

Виходячи з наведених співвідношень, можна встановити певний зв'язок між критеріями надійності й критерієм ефективності функціонування

$$E = E_i \cdot R,$$

де $R = \frac{\Phi_p}{\Phi_i}$ - імовірність відсутності відмов у виконанні функцій.

В [8-10] величина R була визначена, як коефіцієнт ефективності функціонування. У цих роботах це співвідношення отримане при використанні теореми множення ймовірностей, однак, область його дії обмежена об'єктами із чіткими рівнями вихідного ефекту - нуль або 100%. Показано, що цей критерій придатний для відповідного класу установок незалежно від їх складності й структури.

Такі критерії є природною мірою відповідних властивостей об'єктів. Наприклад, установка може недодавати в середньому $(1 - R) \cdot 100\%$ вихідного ефекту стосовно потенційно можливого рівня при ідеальній надійності, або недодавати в середньому $(1 - E) \cdot 100\%$ вихідного ефекту через прояв технічної недосконалості й ненадійності.

Для розглядаємих установок вихідний ефект пропорційний часу правильного функціонування. Після відмови через несправність установка перестає правильно функціонувати й піддається відновленню (налагодженню), після чого вона працює з повною віддачею. Якщо для простоти прийняти, що відмов з інших причин, крім несправності, не відбудеться, то $E_i = 1$. Тоді

$$\Phi_p = \int_0^t K_{\Gamma}(\tau) \cdot b \cdot d\tau; \quad \Phi_{cp} = \Phi_i = b \cdot t,$$

де $K_{\Gamma}(\tau)$ - імовірність того, що установка у момент τ справна; b - коефіцієнт пропорційності.

Звідси

$$E = R = \frac{1}{t} \cdot \int_0^t K_{\Gamma}(\tau) \cdot d\tau = K_{\Gamma cp}(\tau).$$

Розглянуті критерії ефективності мають сенс тільки за певних умов роботи. Зміна умов спричиняє зміну значень критеріїв. Таким чином, варто більш докладно розглянути особливості функціонування установок, що

підлягають оцінюванню, комплексу ситуацій, у відношенні яких сформульоване їх призначення, комплексу різноманітних впливів на установку в умовах експлуатації, що несуть небезпеку критичних змін у схемах і алгоритмах функціонування.

Тому представляється важливим уточнити постановку основних питань надійності, зосередивши увагу на найбільш важливих напрямках: вибір найбільш надійних схем живлення на основі аналізу показників надійності; виявлення найбільш ненадійних елементів і вживання заходів по підвищенню їхньої надійності; розробка методів і засобів технічного контролю експлуатаційних показників пристроїв, що входять у розглянутий комплекс.

Звичайно при живленні електроенергією споживачів розглядають два характерні види порушення надійності функціонування установок. В одних випадках це відбувається через uszkodження одного із елементів системи і пов'язане з необхідністю його відновлення, тобто витратами часу й матеріальних витрат на виявлення несправності і її усунення. В інших випадках порушення функціонування може відбуватися й без uszkodження, тобто лише при відхиленні вихідних параметрів від встановленого режиму. Звичайно, на відміну від порушень першого виду, порушення другого виду доцільно відзначати не як відмови, а як порушення стабільності живлення (порушення якості функціонування). Для визначення показників надійності в першому випадку використовують дані аварійно-відновлювальної статистики різних елементів системи. У той же час порушення стабільності живлення має внутрішні причини, рівень стабільності може бути визначений параметрами навантажень і колами передачі електроенергії від центрів живлення до споживачів.

Відмови основних елементів системи відбуваються по різних причинам: внаслідок концентрації електричних навантажень, перенапруг, механічних uszkodжень, зносу, метеорологічних факторів і т.п. Аналіз даних показує, що коливання статистичної частоти відмов порівняно невеликі. На цій підставі можна вважати, що усереднені статистичні оцінки частоти $\omega(t)$ і інтенсивності відмов λ устаткування дозволяють у багатьох випадках застосовувати експонентний закон розподілу часу безвідмовної роботи $P(t) = e^{-\lambda t}$. Тобто ймовірність відмови елемента протягом часу t визначається виразом $Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, а кількість відмов розподіляється за законом Пуассона

$$P_n(t) = (\lambda t)^n \cdot e^{-\lambda t} / n!,$$

де $P_n(t)$ - імовірність n відмов за час t .

В [11, 12] відзначено, що відмови, пов'язані з порушенням стабільності функціонування системи електропостачання (СЕП) через порушення живлення також утворюють найпростіший потік, тобто розподіляються за законом Пуассона.

Показники надійності основних елементів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Найменування	Значення показників безвідмовності елементів ($t = 1$ рік)		
	$\lambda \cdot 10^5, 1/\text{год}$	$P(t)$	$Q(t)$
Лінія вводу 6 і 10 кВ	1,0425	0,9269	0,0731
Роз'єднувач	0,0266	0,9981	0,0019
Масляний вимикач	0,1220	0,9906	0,0094
Трансформатор	0,7233	0,9486	0,0514
Швидкодіючий вимикач	0,3247	0,9766	0,0334
Живильна лінія для живлення:			
централізованого	0,5383	0,9614	0,0386
децентралізованого	0,0781	0,9943	0,0057

Для оцінки надійності функціонування СЕП істотне значення має ремонтпридатність окремих елементів, що визначає час їхнього відновлення. Значення показників ремонтпридатності окремих елементів представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Найменування	Значення показників ремонтпридатності елементів	
	t_a^* , год	$\gamma \cdot 10^3$
Лінія вводу 6 і 10 кВ	86,0	0,897
Роз'єднувач	2,47	0,0007
Масляний вимикач	3,16	0,0041
Трансформатор	43,0	0,311
Швидкодіючий вимикач	3,42	0,0112
Живильна лінія для живлення:		
- централізованого	109,0	0,587
- децентралізованого	15,8	0,0123

У табл. 2 t_a^* - статистичне середнє часу відновлення, γ - коефіцієнт аварійного простою.

$$t_a^* = \frac{1}{\sum_{i=1}^k n_i} \cdot \left(\sum_{i=1}^k n_i x_i \right),$$

де n_i - кількість ремонтів, тривалість яких попадає в i - інтервал; x_i - середина i - го інтервалу; k - число інтервалів розбивки.

$$\gamma = \frac{\lambda}{\mu},$$

де μ - інтенсивність відновлення елемента.

Результати розрахунків показників надійності для окремих елементів СЕП з урахуванням несправностей системи контролю й управління наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Найменування елемента	Значення показників надійності елемента ($t = 1$ рік)				
	$\lambda \cdot 10^5, \text{год}^{-1}$	$P_d(t)$	$Q_d(t)$	$\gamma_P \cdot 10^3$	$\gamma_Q \cdot 10^3$
Лінія вводу 6 і 10 кВ	1,37	0,9048	0,0952	0,9157	7,226
Перетворювальний агрегат	1,24	0,9130	0,0870	0,4303	9,73
Централізоване живлення лінії	0,935	0,9343	0,0657	0,6104	5,58
Децентралізоване живлення лінії	0,465	0,9665	0,0335	0,0253	4,66

Аналіз наведених даних свідчить про значний вплив надійності функціонування системи контролю й управління на загальні показники надійності всієї системи. При аналізі надійності функціонування системи контролю й управління використовують наступні параметри: потік необхідних спрацьовувань $\lambda_{\text{необх}}$, потік відмов у спрацьовуванні λ_v , потік помилкових $\lambda_{\text{п}}$ і неселективних λ_n дій. Приклади показників надійності пристроїв релейного захисту та автоматики зведені в табл. 4.

Таблиця 4

Найменування пристрою	Параметр потоку, 1/рік			
	$\lambda_{\text{необх}}$	λ_v	$\lambda_{\text{п}}$	λ_n
Максимально - струмовий захист (МСЗ)	$(1-0,2) \cdot 10^3$	0,002	0,0014	0,0026
Газовий захист трансформаторів (ГЗ)	$1,4 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^{-5}$	0,0044	0,0009
Автоматичне включення резерву (АВР)	110	0,012	0,007	-

Щодо пристроїв телемеханіки, то вони досить різноманітні і тому оцінити їхню надійність у цілому не представляється можливим, однак можна констатувати, що більшість порушень функціонування відбувається в схемах формування вимірювальної й сигнальної інформації. Це в першу чергу пов'язане з недоліками якості напруги джерел їхнього живлення, зокрема, з порушенням нормального функціонування відповідних стабілізаторів.

Заключення. Таким чином, в останні роки здійснюється ряд заходів, спрямованих на підвищення надійності електротехнічного устаткування об'єктів енергетики. До числа цих заходів відносяться: підвищення якості конструкції елементів, що входять до складу цих об'єктів; підвищення якості технології їхнього виготовлення; підтримка правильного режиму функціонування; належна організація контролю їхнього технічного стану, а також технологія проведення профілактичних заходів. Звідси відносно високі

статистичні показники роботи розглянутого встаткування. Але отримані дані можуть стати основою лише для загальних рекомендацій і тепер недостатньо даних, заснованих на кількісному аналізі умов профілактичного обслуговування СЕП і, зокрема, обслуговування системи контролю й управління. Тому в удосконалюванні організаційних форм обслуговування є чималий резерв для підвищення достовірності контролю технічного стану цих пристроїв. Зокрема, необхідно застосовувати заходи щодо підвищення рівня ремонтно- і контролепридатності самих пристроїв, удосконалюванню методів і засобів контролю й випробування, спрямованих на підвищення достовірності контролю, поліпшенню умов праці й підвищенню кваліфікації обслуговуючого персоналу, організації робочих місць, і, нарешті, автоматизації технологічних операцій, що знижують вплив на надійність функціонування суб'єктивних факторів обслуговуючого персоналу. Запропоновані заходи мають сприяти підвищенню надійності функціонування, а також по-новому вирішувати завдання експлуатації й ремонту електроустановок, що приведе до зменшення числа відмов електроустановок, а також підвищенню загальної надійності роботи СЕП.

Список літератури: 1. Бурак В.Н. Эксплуатация систем электроснабжения / В.Н.Бурак - Харьков: ХВВКИУ, 1982. - 460 с. 2. Модели и методы оптимизации надежности сложных систем / В.Л. Волкович и др. - К.: Наукова думка, 1992. - 311 с. 3. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике / Ю.Б. Гук. - Л.: Энергоатомиздат, 1990. - 378 с. 4. Дейнеко Н.А. Влияние условий эксплуатации на надежность устройств релейной защиты и автоматики систем электроснабжения городского электрического транспорта / Н.А. Дейнеко // Коммунальное хозяйство городов.- Харьков, 1999. - Вып. 20. - С.141 – 143. 5. Ефремов И.С. Надежность тяговых подстанций городского транспорта / И.С. Ефремов Т.И. Лаптева. - М.: Транспорт, 1975. - 175 с. 6. Загайнов Н.А. Повышение эффективности и надежности оборудования электроснабжения ГЭТ / Н.А.Загайнов, Т.И.Лаптева. - М.: Транспорт, 1974. - 56 с. 7. Назарычев А.Н. Методы и модели оптимизации ремонта электрооборудования объектов энергетики с учетом технического состояния / А.Н. Назарычев; под ред. В.А. Савельева; Иван.гос.ун-т. – Иваново, 2202. – 168 с. 8. Рябинин И.А. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем / И.А.. Рябинин. - Л.: Судостроение, 1971. - 456 с. 9. Сыромятников И.А. Некоторые вопросы применения вероятностных и статистических методов в энергетике / И.А. Сыромятников // Электричество. - 1964. - №8. - С. 16 - 18. 10. Техническая диагностика. - М.: Наука, 1972. - 586 с. 11. Краснов Б.Д. Показатели безотказности и ремонтпригодности устройств систем электроснабжения трамвая и троллейбусов /Б.Д. Краснов, Д.К. Томлянович // Городской транспорт. - 1970. - №7. - С. 114 - 123. 12. Кузнецов С.М. Эксплуатация и ремонт тяговых подстанций городского электрического транспорта / С.М. Кузнецов, Л.Н..Ефремов. - М.: Транспорт, 1981. - 311 с.



Дейнеко Наталья Анатольевна закончила Харьковской государственной академии городского хозяйства (1990). Круг научных интересов: контроль технологического состояния электрооборудования систем электроснабжения.

Надійшло до редколегії 03.09.2010

УДК 621.316: 621.316.1

А.В.ЕФИМОВСКИЙ, соискатель, НТУ «ХПИ»
Ю.В. ВЛАДИМИРОВ, канд. техн. наук., проф., НТУ «ХПИ»

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Розглянуто питання про доцільність використання синхронних двигунів для компенсації реактивної потужності. Дана порівняльна характеристика компенсації за допомогою синхронного двигуна і конденсаторних батарей.

A question is considered about expedience of the use of synchronous engines for indemnification of reactive power. Comparative description of indemnification is given by a synchronous engine and condensers batteries.

Постановка проблемы. В настоящее время прирост потребления реактивной мощности (РМ) существенно превышает прирост потребления активной. Вследствие чего увеличиваются перетоки РМ. РМ, протекая по элементам электрической сети, обладающим активным сопротивлением вызывает в них дополнительные потери мощности и электрической энергии. Кроме того, перетоки РМ снижают пропускную способность линий электропередач и трансформаторов, либо вынуждают увеличивать сечение проводов, осуществлять прокладку дополнительных кабельных линий, замену трансформаторов на большую номинальную мощность. Большая часть этих потерь приходится на сети 0,4 – 10 кВ, так как в этих сетях находятся основные потребители РМ: асинхронные двигатели, силовые трансформаторы и электробытовые приборы и лампы. Долевое участие этих потребителей составляет 50, 25 и 10% соответственно [1]. Также всё большую долю в общем объёме суммарных нагрузок занимают приёмники с нелинейными характеристиками и повышенным потреблением РМ. Поэтому именно в этих сетях наиболее эффективно устанавливать источники реактивной мощности (ИРМ) с помощью которых и осуществляется компенсация реактивной мощности (КРМ) [2]. Наряду со специальными средствами КРМ, в качестве ИРМ в большинстве источников [] рекомендуют в первую очередь использовать синхронные двигатели (СД), если они уже установлены у потребителя из технологических соображений. Например, СД находят применение в молотковых дробилках и шаровых мельницах горнорудных предприятий, в буровых лебедках нефтяной промышленности, в ножницах и пилах для металла, в непрерывных прокатных станах в металлургии и т. д. [3,4].

Рассматривая СД, как компенсатор РМ, можно отметить его преимущества и недостатки. Одним из преимуществ является плавность регулировки величины отдаваемой или потребляемой РМ (такая